第1章

7月号付属Spartan-3Eボードで始める画像回路入門

ステップ・バイ・ステップでVHDL設計を学習する

江崎雅康

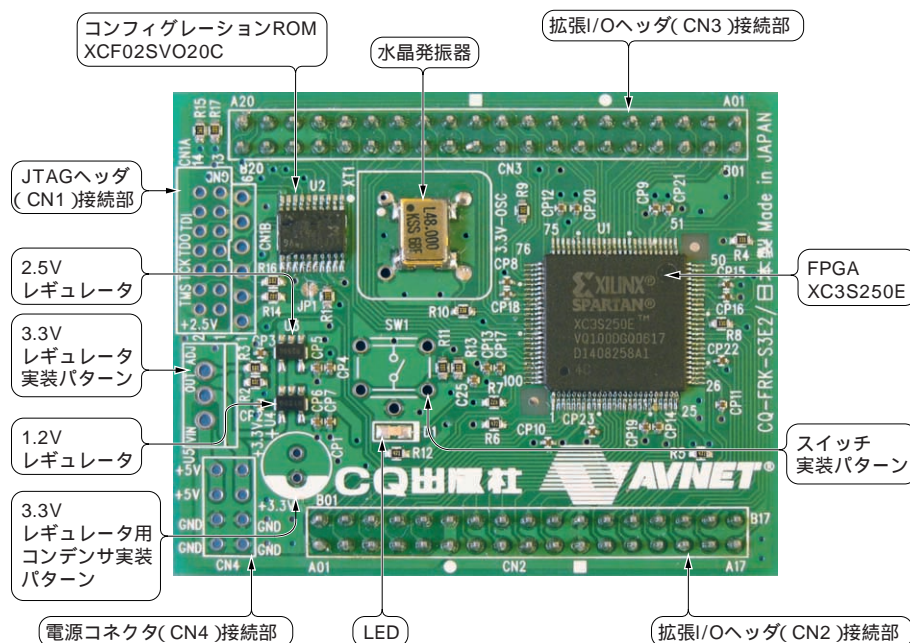
先月号に続き，FPGA基板を画像回路に応用するための解説・製作記事を用意した．FPGA基板だけでは画像回路を実現できない．別基板を作り，この基板と部品類を入手できるようにした．　（編集部）

1．25万ゲート相当のFPGAボード
…書棚に飾っておくだけではもったいない！

本誌2007年7月号にXilinx社のSpartan-3Eを搭載した基板（**写真1**）と開発ツール入りのDVD-ROMが同梱されました．25万ゲート相当のFPGAが雑誌に付属…，大変な時代になったものです．

数十ゲートのPAL（Programmable Array Logic）でDRAMコントローラを開発した経験のある筆者には隔世の感がします．「付属基板付きのDesign Wave Magazine 2007年7月号」を書棚に飾っておくだけではもったいない限りです．この基板を活用して画像回路の設計に挑戦してみました．VGA（640×480ピクセル）ディスプレイ，TFT液晶表示，ディジタルCMOSカメラ入力回路，画像メモリ制御などの画像処理はFPGAの機能をフルに発揮できる分野です．

カメラ付き携帯電話，デジカメ，ワンセグ受信機など，画像を扱う商品は私たちの身の回りにあふれています．し

写真1
付属Spartan-3E基板
水晶発振器，コンフィグレーションROMを実装．

KeyWord　付属基板，Spartan-3E，画像回路，VHDL学習，画像ベースボード，アナログRGB表示回路，TFT液晶表示コントローラ回路，ディジタルVGAカメラ・モジュール入力回路，ブロックくずしゲーム

かしこれらの商品は多くの人にとってブラック・ボックスになりつつあります．

そこで付属基板を活用して画像回路の基本を学ぶことを考えてみました．LEDランプの点滅やカウンタ/タイマの実験で終わらせてはFPGA（Spartan-3E）付属基板が宝の持ち腐れになってしまいます．この基板を120％活用して画像処理回路の基本設計を学習してみましょう．

画像処理回路は設計結果を目で見て確認できます．HDL記述の1行1行が結果となって目に見えます．目標をもって楽しく学習を進められるので，HDL論理設計の優れた学習素材になります．

2．画像入出力回路のシステム構成と回路図

…ステップ・バイ・ステップで結果を画面で確認しながらVHDL設計の学習ができる

図1は本特集で紹介する画像入出力回路のシステム構成図です．Spartan-3E付属基板と新規開発した画像ベースボードCQ-SP3EDWによって構成されています．

画像ベースボードは，

①アナログRGB（640×480ピクセル）表示出力回路
②TFT液晶表示コントローラ回路
③ディジタルVGAカメラ・モジュール入力回路
④マイクロプロセッサADuC7026（米国Analog Devices社）による画像制御インターフェース回路
⑤降圧レギュレータ（3.3V）

などの回路を備えています．

写真2に画像ベースボード，図2に基板の部品レイアウトを示します．基板中央にある2列のコネクタJ1，J2に2007年7月号付属のSpartan-3E基板（もちろんコネクタを実装して）を挿入します．

図3は画像ベースボードCQ-SP3EDWの回路です．カラー画像用D-AコンバータADV7125（米国Analog Devices社），ARMコア内蔵マイクロコンバータADuC7026，USB-シリアル変換IC　CP2102（米国Silicon Laboratories社），同期整流方式の降圧（ステップダウン）レギュレータ回路，液晶LEDバックライト駆動回路で構成されています．

「付属基板活用のために大げさな！」という声も聞こえてきそうです．しかしSpartan-3Eは専用基板を開発して使いこなすに値するFPGAです．

写真3は画像ベースボードに付属基板を取り付け，アナログRGBモニタ，TFT液晶表示器，カメラ・モジュールを取り付けた全景です．液晶表示器やカメラ・モジュールのFPCケーブルの接続も専用基板がないと苦労します．

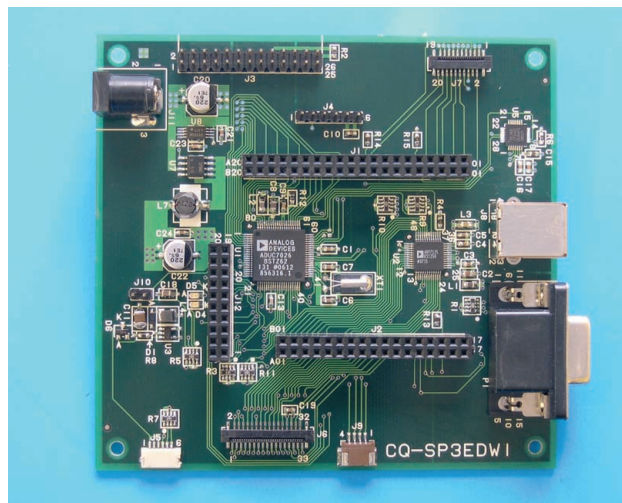



写真2　画像ベースボード
付属基板のパワーを120％引き出して，ディジタルCMOSカメラ・インターフェース，アナログVGA出力，TFTカラー液晶表示などの実験を行うために開発した4層基板．

図1
付属Spartan-3E基板を活用した画像入出力システム（付属基板＋画像ベースボード）
付属Spartan-3E基板と画像ベースボードCQ-SP3EDWを組み合わせてディジタルCMOSカメラ・モジュール，アナログRGBディスプレイ，TFT液晶表示回路を構成する．画像ベースボード上にはARMコア内蔵マイクロコントローラADuC7026も搭載．将来は付属基板を「208ピンSpartan-3E+512Kバイト・フレーム・メモリ」基板に差し替えて機能拡張も予定．

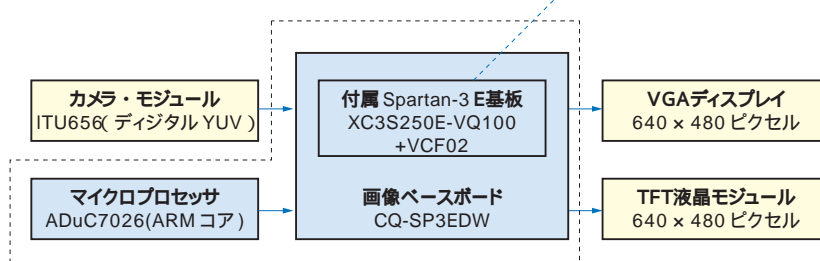
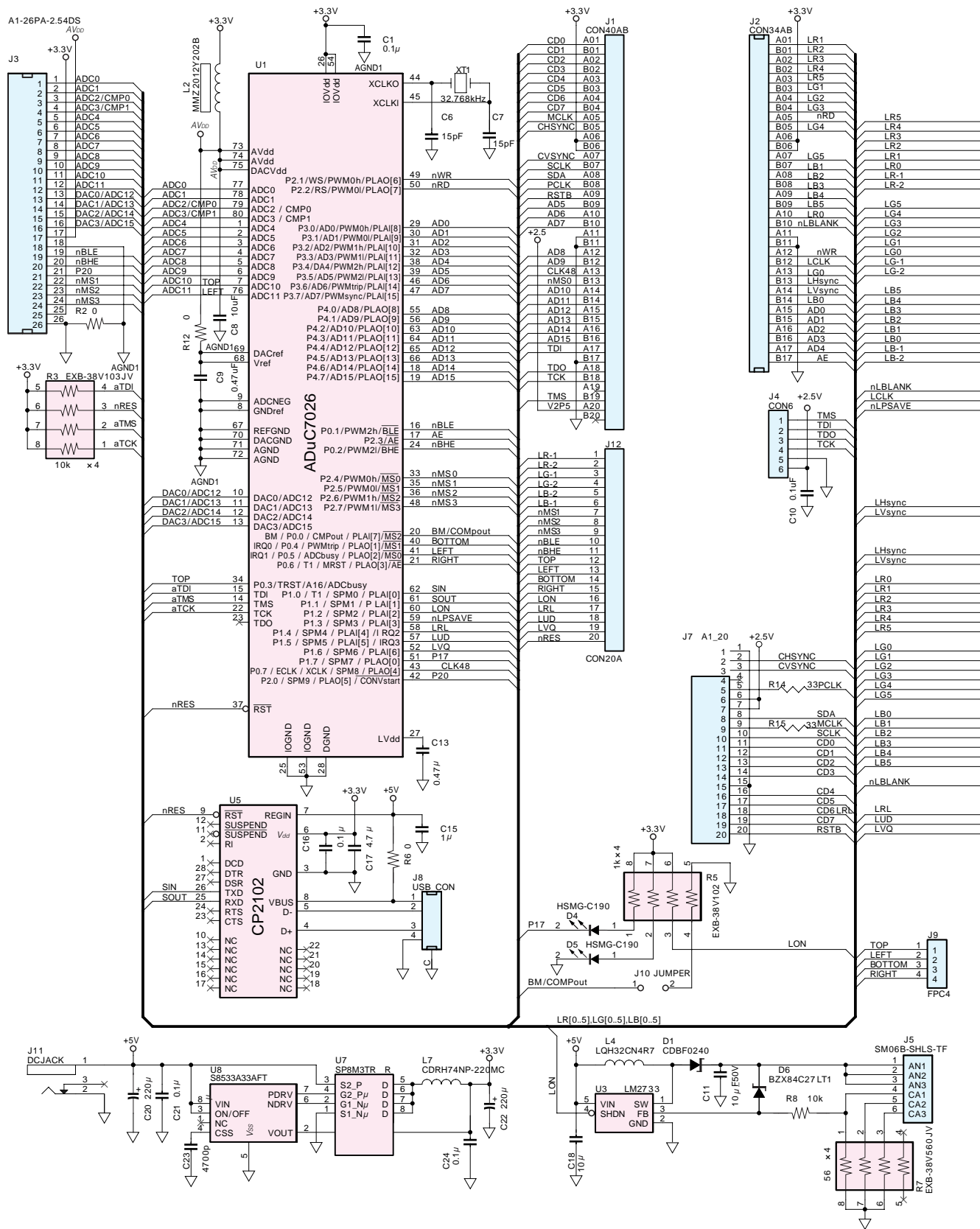



図3 画像ベースボード CQ-SP3EDW の回路図

画像用 D-A コンバータ ADV7125，マイクロプロセッサ ADuC7026，USB-シリアル変換 IC　CP2102，液晶バックライト LED 駆動回路，3.3V スイッチング・レギュレータなどを備える．

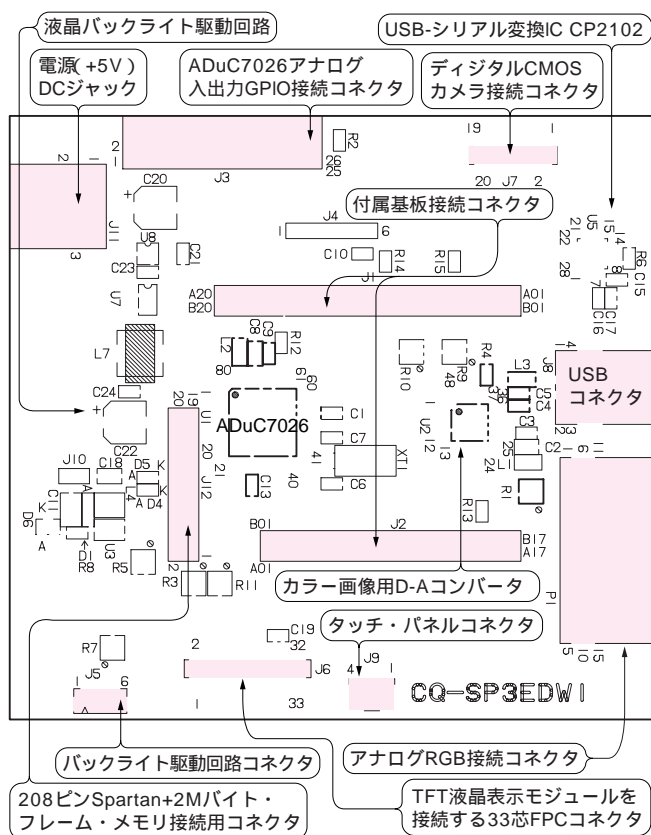
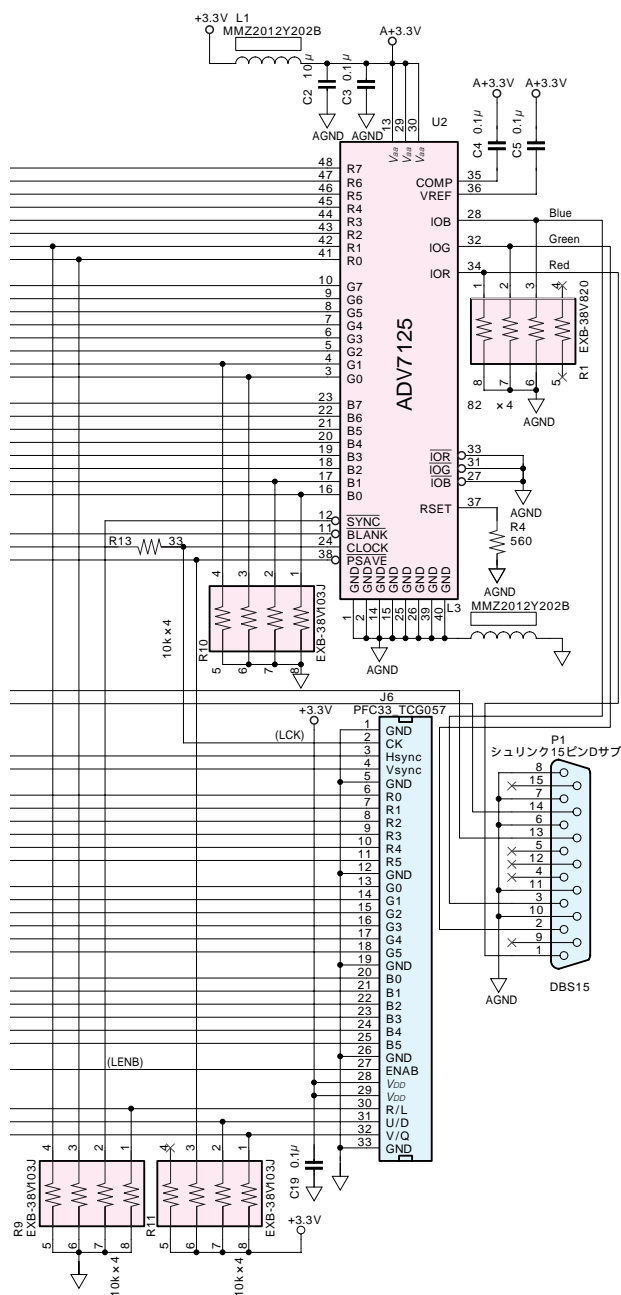



図2　画像ベースボードのレイアウト図

中央のJ1，J2ヘッダに付属基板を実装する．カメラ，アナログRGBコネクタ，液晶インターフェース用FPCコネクタなどを備える．

図4は付属基板に実装する回路を図示したものです．本特集ではこれらの機能をステップ・バイ・ステップでFPGAに組み込んでいきます．ステップごとに結果を表示画面によって確認しながら画像回路のVHDL記述を学習することができます．

3．本格的な画像入出力回路への拡張も可能

…208ピンXC3S250E＋画像フレーム・メモリへ拡張

付属基板に搭載されるFPGA「XC3S250E」は，100ピン・パッケージです．コネクタ経由で利用可能な信号線の数は，

- 入出力ピン　53本
- 入力専用ピン　4本
- クロック　1本

と限られています．

1

写真3
TFT液晶モジュール，ディジタルCMOSカメラを接続した画像処理システム全景
この写真の画像ベースボードは第1次試作．CMOSカメラの接続はアダプタ基板と手配線によっている．

ディジタルCMOSカメラ・インターフェース回路	YUV 4：2：2→YUV4：4：4変換回路	VGA(640×480)同期信号発生回路
ADuC7026インターフェース回路	YUV→RGB変換回路	アナログRGB表示回路
ADuC7026インターフェース回路	メモリ・ブロック(160×120×9)フレーム・メモリ回路	TFTカラー液晶インターフェース回路

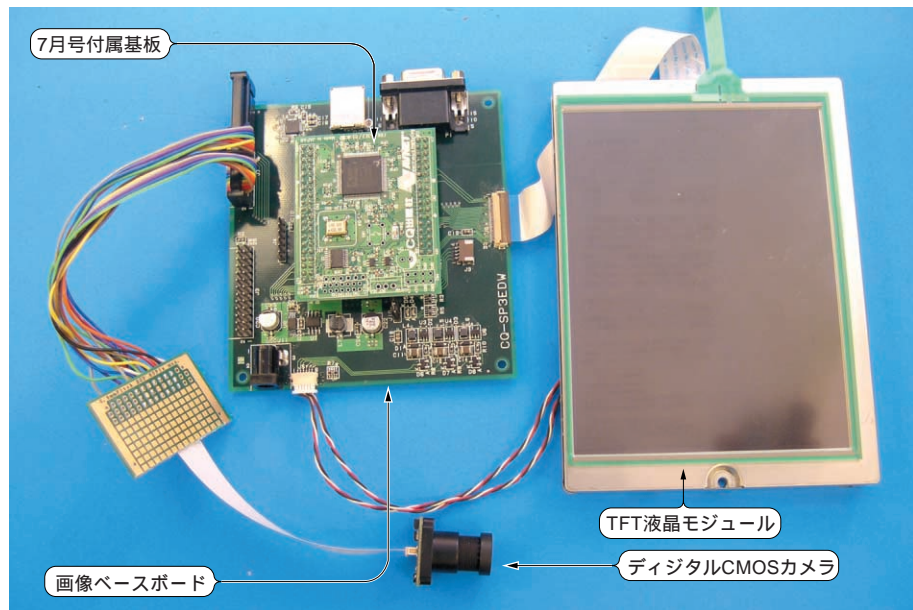



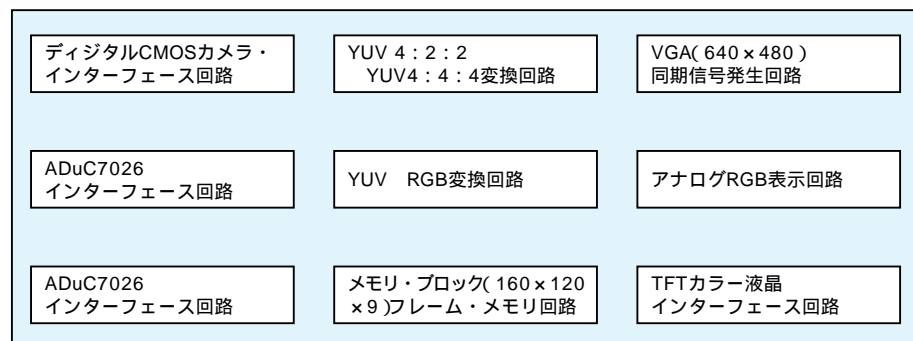
図4
付属基板に実装して動作させる回路
付属Spartan-3E基板に実装して画像ベースボード上で動作させる回路．ステップ・バイ・ステップ方式で順に実装しながら動作を確認する．

これは画像回路の設計では大きな制約ですが，工夫をして付属基板と画像ベースボードだけでアナログVGA表示回路，TFT液晶表示回路，カメラ・モジュール入力回路，マイクロプロセッサ制御回路など，要素技術の設計をすべて体験できるようにしました．

図1のシステムでは，信号ピン数の制約により外部メモリは断念し，Spartan-3Eの内蔵ブロックRAMで画像フレーム・メモリを構成しています．しかし，「画像のグレード」は満足できるレベルではありません．

今回の画像ベースボードは付属基板を卒業した後，「208ピンXC3S250E＋512KバイトSRAM フレーム・メモリ」基板と差し替えて本格的な画像処理回路に発展させることができます．基板中央部のJ12はこの拡張に備えたコネクタです．

4．市販のパソコン用ディスプレイを使ってVGA表示
…3チャネル画像D-AコンバータとVGAコネクタを搭載

画像ベースボードの中央上部にあるU2は，カラー画像用D-AコンバータADV7125です．FPGAから出力する画像データ信号をアナログ値に変換し，基板右側のアナログRGBコネクタに出力します．

パソコン用のディスプレイ(CRTもしくは液晶表示器)を接続すると，VGA，262,144色のカラー表示ができます．

写真4は「フランス国旗の表示」画面です．このようにHDL設計の結果を画像で確認できます．

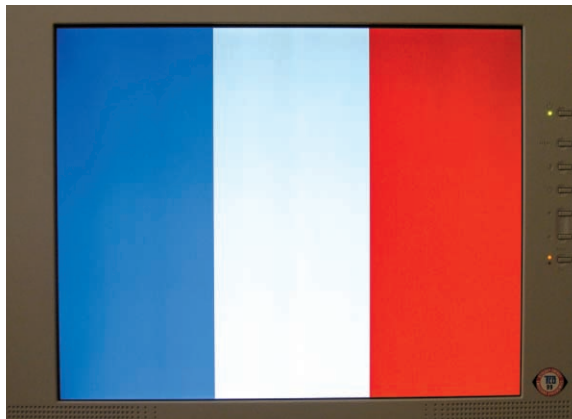



写真4　フランス国旗の画像
フランスの国旗は自由・平等・博愛を意味する．水平同期カウンタの値によって色を決定．

写真5　TFT液晶モジュールに表示したブロックくずしゲーム画面
初期のテレビ・ゲームにはロジック回路だけで構成されていたものもある．

5．TFT液晶モジュールに表示できる
…VGA（640×480）液晶表示コントローラ回路

画像ベースボード左下のJ6は，京セラの5.7インチTFT液晶モジュール「TCG057VGLAD-G00」を直接接続できる33ピンFPCコネクタです．その右にあるJ9はタッチ・パネル接続用のコネクタです．

左中のU3は，液晶LEDバックライト駆動用の昇圧レギュレータです．コネクタJ5にTFT液晶モジュールのLEDバックライト・ケーブルを接続すると，25mA×3組の定電流駆動ができます．

画像ベースボードは，VGAサイズのカラーTFT液晶表示回路をすべて備えています．262,144色のカラフルな画面を表示できます．

写真5は，ブロックくずしゲームのデモ画面を表示させたところです．

6．ディジタルCMOSカメラ入力に対応
…VGA（640×480）ディジタル画像の取り込みが可能

現在，携帯電話やデジカメに使われているカメラは，ディジタル・インターフェース付きCMOSカメラ・モジュールです．従来のNTSCアナログ信号のカメラと違って，クランプ回路やA-D変換回路などのアナログ回路は必要ありません．

ディジタルCMOSカメラ・モジュールを使うと容易に安定した画像データが得られます．画像入力回路の小型化，軽量化，省電力化が容易で，ロボットの目，セキュリティ・システムなど幅広い応用が可能です．

写真6　160×120×9ビットのフレーム・メモリによる画像
Spartan-3E内蔵のメモリだけを使ってフレーム・メモリを構成．赤（R），緑（G），青（B）に各3ビットを割り当てている．

画像ベースボード右上のJ7は，ディジタルCMOSカメラ・モジュールKBCR-M03VG（シキノハイテック）を接続するためのFPCコネクタです．

画像ベースボードは外部メモリを備えていないので，VGAサイズの65,536色カラー画像をそのまま取り込むことはできません．FPGA内蔵のブロックRAMによるフレーム・メモリに，ディジタルCMOSカメラの画像データの一部を取り込むことはできます．**写真6**はメモリ・ブロック（Block RAM）に記憶した160×120×9ビット（RGB各3ビットのカラー512色）画像の表示画面です．

付属基板を「208ピンXC3S250E＋512KバイトSRAMフレーム・メモリ」基板に差し替えるとVGA，262,144色のカラー表示ができます．

7．マイクロプロセッサADuC7026と降圧レギュレータ（3.3V）を搭載

画像ベースボード中央部のU1はマイクロコントローラADuC7026です．このマイクロコントローラは本誌2006年3月号で紹介されたLSIで，ARM7コアを内蔵し41.78MHzで動作します．16チャネルの12ビットA-Dコンバータ，4チャネルの12ビットD-Aコンバータを備え，コスト・パフォーマンスが優れています．今回は，画像データの処理および画像制御を行います．

ベースボード設計にあたって一番苦慮した点は，FPGAの信号ピンのやりくりです．ADuC7026は，アドレスおよ

表1　基板信号名とXC3S250Eのピン対応表
J1，J2は付属基板との接続用．J12は将来の拡張用．

J1

コネクタ・ピン番号	FRK-SP3E 信号名	XC3S250E ピン番号	CQ_SP3EDWA 信号名
A01	IO24	P53	CD0
B01	IO23	P54	CD1
A02	IO22	P57	CD2
B02	IO21	P58	CD3
A03	IO20	P60	CD4
B03	IO19	P61	CD5
A04	IO18	P62	CD6
B04	IO17	P63	CD7
A05	IO16	P65	MCLK
B05	IO15	P66	CHSYNC
A06	V3P3	―	+3.3V
B06	V3P3	―	+3.3V
A07	IO14	P67	CVSYNC
B07	IO13	P68	SCLK
A08	INPUT3	P69	SDA
B08	IO12	P70	PCLK
A09	IO11	P71	RSTB
B09	IO10	P78	AD5
A10	IO9	P79	AD6
B10	IO8	P84	AD7
A11	GND	―	GND
B11	GND	―	GND
A12	IO7	P85	AD8
B12	IO6	P86	AD9
A13	DCM2_CLK	P88	CLK48
B13	SWIN	P89	nMS0
A14	IO5	P90	AD10
B14	IO4	P91	AD11
A15	IO3	P92	AD12
B15	IO2	P94	AD13
A16	IO1	P95	AD14
B16	DCM1_CLK	P83	AD15
A17	TDI1	―	TDI
B17	GND	―	GND
A18	TDO	P76	TDO
B18	TCK	P77	TCK
A19	nPROG	P1	nPROG
B19	TMS	P75	TMS
A20	V2P5		+2.5V
B20	DONE	P51	DONE

J2

コネクタ・ピン番号	FRK-SP3E 信号名	XC3S250E ピン番号	CQ_SP3EDWA 信号名
A01	IO51	P2	LR1
B01	IO50	P3	LR2
A02	IO49	P4	LR3
B02	IO48	P5	LR4
A03	IO47	P9	LR5
B03	IO46	P10	LG1
A04	IO45	P11	LG2
B04	IO44	P12	LG3
A05	INPUT1	P13	nRD
B05	IO43	P15	LG4
A06	V3P3	―	+3.3V
B06	V3P3	―	+3.3V
A07	IO42	P16	LG5
B07	IO41	P17	LB1
A08	IO40	P18	LB2
B08	IO39	P22	LB3
A09	IO38	P23	LB4
B09	IO37	P24	LB5
A10	IO36	P26	LR0
B10	IO35	P27	nLBLANK
A11	GND	―	GND
B11	GND	―	GND
A12	INPUT2	P30	nWR
B12	IO34	P32	LCLK
A13	IO33	P33	LG0
B13	IO32	P34	LHsync
A14	IO31	P35	LVsync
B14	IO30	P36	LB0
A15	IO29	P40	AD0
B15	IO28	P41	AD1
A16	IO27	P47	AD2
B16	IO26	P48	AD3
A17	IO25	P49	AD4
B17	DCM0_CLK	P38	AE

J12

コネクタ・ピン番号	FRK-SP3E 信号名
1	LR-1
2	LR-2
3	LG-1
4	LG-2
5	LB-1
6	LB-2
7	nMS1
8	nMS2
9	nMS3
10	nBLE
11	nBHE
12	TOP
13	LEFT
14	BOTTOM
15	RIGHT
16	LON
17	LRL
18	LUD
19	LVQ
20	nRES

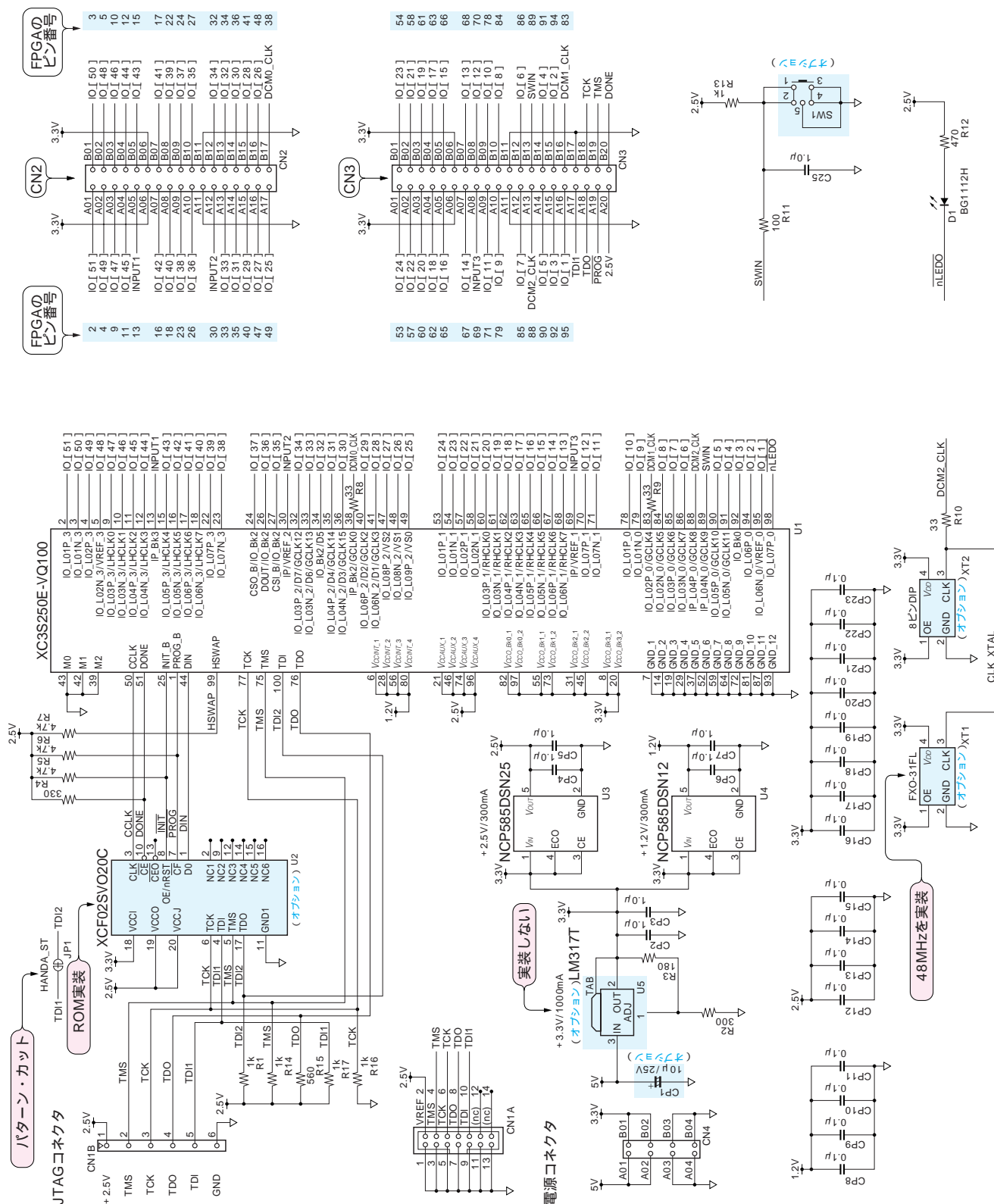



図5　本誌6月号付属基板の回路図

25万ゲート相当のロジックが実装できるSpartan-3Eの信号ピンはCN2，CN3に出力される．今回のシステム製作に先立って，48MHz水晶発振器XCF02SV020Cを実装．はんだジャンパJP1はパターン・カット．

びデータ線が多重化された信号線になっています．

図3の回路図に示すように，

- アドレス/データ信号線 16本（AD0～AD15）
- 制御信号線 4本（/CS，/RD，/WR，AE）

の計20本でFPGA内のレジスタやメモリ・ブロックにアクセスできます．

画像ベースボード左下に3.3Vスイッチング・レギュレータ回路を搭載しました．同期整流方式の効率の良い降圧レギュレータです．小さな回路ですが，3A程度の電流供給能力があります．

電源はDCジャックJ11に内側がプラス極のDCアダプタ（＋5V）を接続します．付属基板側の電源レギュレータ「LM317」は実装する必要はありません．

8．XC3S250E-VQ100の限られた58ピンをフルに活用

…将来は208ピンXC3S250E-PQFP208＋512KバイトSRAM フレーム・メモリ拡張の余地も残す

付属基板は写真1に示すように，

①48MHzの水晶発振器

②2Mバイト・フラッシュROM　XCF02SVOG

を実装し，はんだラウンド・ジャンパJP1をカットします（図5）．画像ベースボードは，付属Spartan-3E基板のコネクタを介して利用できる58ピンの信号線をフルに活用しています．

表1は付属基板コネクタと搭載FPGAピン，画像ベースボードの信号ピン対応表です．コネクタJ12は「208ピンXC3S250E＋512KバイトSRAM フレーム・メモリ」基板を接続し機能を拡張するためのものです．

9．画像ベースボード，液晶表示モジュール，VGAディジタルCMOSカメラ・モジュールの入手について

試作した画像ベースボードおよび「208ピンXC3S250＋画像フレーム・メモリ基板」は，読者の方の学習に役立てるため希望者に有償頒布します．

液晶表示モジュールおよびディジタルCMOSカメラ・モジュールのサンプル入手も容易ではありません．サンプル購入は「製品開発のための法人の購入」が対象になっているからです．

今回のベースボード開発に合わせて希望者向けの斡旋（あっせん）窓口を用意しました（p.38を参照）．個人のホビーユース，教育・研究用試作などに活用いただければ幸いです．

工学には「やってみないとわからない」ことがたくさんあります．記事を読んで「ふんふん」と理解したつもりになっていても，実際の設計で戸惑うことは少なくありません．「大学は基礎理論を身に付ける場．実学は企業に入ってからで大丈夫」という考え方もあります．しかし，今の企業には実学のための試行錯誤を許す余裕がそれほどあるようには思えません．チャレンジするのは今です．

えさき・まさやす
（株）イーエスピー企画

<筆者プロフィール>

江崎雅康． トランジスタが発明された年に岐阜県で生まれる．1970年京都大学工学部電気工学第II学科卒業．関西の電機メーカに就職し技術開発畑一筋．ペンネーム吉田幸作で20余年にわたって技術誌に執筆．2005年10月早期退職し，イーエスピー企画代表取締役就任，現在社長業見習い中．
経済産業省委託事業の一環として開催されている「組込みハード&ソフト研究会」，「ロボットテクノロジ研究会」の座長を務める．1年前よりOJT型の開発チーム「土日システム開発部」を月2回開催，新幹線の岐阜羽島駅前にある開発ルームに8人のメンバが集まる．本特集執筆のための開発に，このチームのメンバが大いに貢献した．